Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 11, No. 2, 2020, p. 183-195 (Research Article)
DOI: 10.22067/ijpr.v11i2.78036

پژوهش‌های حبوبات ایران
سال(دوره)۱۱ شمارهٔ۲، نیمهٔ دوّم ۱۳۹۹
صفحهٔ ۱۹۵-۱۸۳، نوع مقاله: پژوهشی

اثر رقابت و سطوح مس بر وزن خشک گیاهچه و غلظت عناصر مس، فسفر، پتاسیم و منیزیم در لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) و تاج‌خروس ریشه‌قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.)

سمیه بیات[1]، گودرز احمدوند[2]* و علی سپهری[2]

۱- دانشجوی دکتری رشته علوم علف‌های‌هرز، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران؛
s.bayat64@gmail.com
۲- دانشیار زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران؛
(**به‌ترتیب** gahmadvand@basu.ac.ir و a_sepehri@basu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۲

چکیده

به منظور درک کافی از میزان جذب عنصر مس و تجمع سایر عناصر توسط گیاه لوبیا و علف‌هرز تاج‌خروس در غلظت‌های مختلف مس، آزمایشی به صورت آب‌کشت (هیدروپونیک)، در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا در سال۱۳۹۵ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل غلظت مس در سه سطح ۱، ۲۵ و ۵۰ میکرومولار سولفات مس ($CuSO_4$) و مخلوط جایگزینی لوبیا (B) و تاج‌خروس (P) با نسبت‌های ۱۰۰درصد لوبیا+۰درصد تاج‌خروس (1B: 0P)، ۷۵درصد لوبیا+۲۵درصد تاج‌خروس (0.75B: 0.25P)، ۵۰درصد لوبیا+۵۰درصد تاج‌خروس (0.5B: 0.5P)، ۲۵درصد لوبیا+۷۵درصد تاج‌خروس (0.25B: 0.75P) و ۰درصد لوبیا+۱۰۰درصد تاج‌خروس (0B: 1P) بود. نتایج نشان داد در غلظت ۱ میکرومولار سولفات مس، غلظت پتاسیم در ریشه لوبیا با افزایش تعداد بوته تاج‌خروس در نسبت جایگزینی (0.25B: 0.75P) به‌ترتیب به میزان ۷ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا کاهش و در غلظت ۲۵ و ۵۰ میکرومولار سولفات مس به‌ترتیب به میزان۱۰ و ۱۵ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا، افزایش نشان داد. در غلظت ۲۵ میکرومولار سولفات مس، غلظت فسفر و منیزیم در ریشه لوبیا در نسبت جایگزینی 0.25B: 0.75P به‌ترتیب به میزان ۱۷و ۱۸درصد و در غلظت ۵۰ میکرومولار، به میزان ۲۱ و ۲۶ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا افزایش یافت. در شرایط فزونی مس، همجواری علف‌هرز تاج‌خروس با لوبیا سبب کاهش آلودگی لوبیا به مس و ایجاد تعادل در جذب عناصر ضروری گیاه لوبیا شد. جذب فلز مس توسط علف‌هرز تاج‌خروس، سبب بهبود رشد لوبیا تحت شرایط فزونی مس شد. بنابراین مدیریت اکولوژیکی گیاهان تجمع‌دهنده فلز مس نظیر تاج‌خروس ریشه‌قرمز در مقابل ریشه‌کن‌کردن این علف‌هرز، در مزارع لوبیای دارای آلودگی مس، راهکار مناسبی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: علف‌هرز، عناصر غذایی، فلز سنگین

مقدمه

فعالیت‌های طبیعی و انسانی نظیر استخراج معادن، عملیات کشاورزی و تخلیه فاضلاب‌ها منابع اصلی افزایش فلز مس در خاک می‌باشند. خاک‌های کشاورزی، اغلب مقدار قابل توجهی از فلز مس (Cu) را به دلیل آلودگی محیط‌زیست و فعالیت‌های انسانی دریافت می‌کنند (Mico *et al*., 2006). علاوه براین، استفاده بیش از حد از قارچ‌کش‌ها، باکتری‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها برای کنترل آفات و بیماری‌ها، سبب افزایش فلز مس در لایه سطحی خاک‌های کشاورزی شده است (Michaud *et al*., 2007). مس همچنین یکی از عناصر کم مصرف ضروری برای تغذیه گیاهان می‌باشد. عناصر کم‌مصرف در مقدار زیاد برای گیاه سمیت ایجاد می‌کنند (Wuana & Okieimen, 2011). مس نیز از این قاعده مستثنی نیست وگرچه در فرایندهای متابولیکی مختلف نقش مهمی ایفا می‌کند، ولی در غلظت‌های بالا برای گیاهان و حیوانات سمی است (Gaetke & Chow, 2003).

همچنین فزونی فلز مس بر جذب سایر عناصر غذایی تأثیرگذار می‌باشد (Ke *et al*., 2007). عدم تعادل عناصر غذایی، منجر به بروز علایم سمیت فلزات سنگین در گیاهان می‌شود. در مقایسه با سایر عناصر از جمله منگنز، روی و یا عناصر غیرضروری نظیر کادمیم، سمیت ناشی از افزایش فلز مس برای گیاهان بیشتر می‌باشد (Gajewska & Sklodowska, 2010; Dresler*et al*., 2014). حلالیت مس به pH و مقدار ماده آلی خاک بستگی داشته (Bravin *et al*.,

*نویسنده مسئول: gahmadvand@basu.ac.ir

2012) و در pH کمتر از ۶، قابلیت دسترسی آن برای گیاه افزایش می‌یابد (Brun *et al*., 2001). از سوی دیگر گیاهان تیره بقولات (Fabaceae) با افزایش نیترات خاک، فراهمی فلزات سنگین را در خاک افزایش می‌دهند (Li *et al*., 2001).

سیستم ریشه‌ای گیاهان زراعی در تماس با سیستم ریشه ای گیاهان مجاور (اعم از گیاه زراعی یا علف‌هرز) در مقایسه با کشت خالص گیاهان زراعی، دارای ویژگی‌های متفاوت از نظر جذب فلزات سنگین می‌باشد (Ashrafi *et al*., 2015). موقعیت موضعی محیط ریشه[1] علف‌های‌هرز تجمع‌دهنده فلزات سنگین، ممکن است جذب فلزات توسط گیاهان زراعی مجاور را در مزارع آلوده، تحت تأثیر قرار دهد. علف‌های‌هرز تجمع‌دهنده فلزات، با کاهش و یا تخلیه فلزات از محیط ریشه گیاهان مجاور، سبب مصونیت این گیاهان در مقابل سمیت فلزات می‌شوند (Su *et al*., 2008).

رقابت بین گیاهان علاوه بر منابع ضروری رشد، برای مواد سمی نیز وجود دارد (Hoffman & Lavy, 1978). در مقایسه با گیاهان زراعی، علف‌های‌هرز در شرایط محیطی نامساعد محیطی مقاوم‌تر می‌باشند و ظرفیت بالایی برای جذب آب و عناصر غذایی دارند (Wei & Zhou, 2006).

Zimdahl (2007) به خصوصیات ارزشمند علف‌های‌هرز از لحاظ منبع غذایی، دارویی، کشاورزی، زینتی و کنترل آلودگی، اشاره کرده است. ویژگی جذب فلزات سنگین توسط برخی از علف‌های‌هرز، یکی از خصوصیات بسیار سودمند و مفید این گیاهان می‌باشد (Zimdahl, 2007). قابلیت جذب بالای فلزات سنگین در گیاهان خانواده تاج‌خروس (Amaranthaceae) گزارش شده است (Bigaliev *et al*., 2003). برای مثال، در کشت مخلوط ذرت (*Zea mays*) و تاج‌خروس (*Amaranthus paniculatus*) در خاک آلوده به کادمیم، ۶۰ روز پس ازکاشت، غلظت کادمیم در ریشه ذرت در مقایسه با شاهد (تک‌کشتی ذرت) کاهش معنی‌داری داشت (Li *et al*., 2009). در پژوهش مذکور مشخص شد، تاج‌خروس یک گیاه تجمع‌دهنده کادمیم بوده و جذب کادمیم در گیاه اصلی (ذرت) را به‌طور معنی‌داری کاهش داده است. همچنین ماده خشک ذرت همراه با تاج‌خروس، کاهش معنی‌داری نسبت به تک‌کشتی ذرت نداشت. در بررسی اثرات همجواری دو گونه گیاه کیسه‌چوپان مشخص شد که همجواری گونه *Thlaspi caerulescens* (گونه تجمع‌دهنده فلز سنگین) وزن خشک گونه *Thlaspi arvense* (گونه غیرتجمع‌دهنده) را در خاک آلوده به فلز روی، ۳۰ درصد افزایش داد (Whiting *et al*., 2001).

روند صنعتی‌شدن کشور، احتمال افزایش آلودگی به فلزات سنگین را دوچندان کرده است. در این شرایط، محافظت از گیاهان زراعی و کاهش آلودگی محصولات و فراورده‌های گیاهی، از طریق راهکارهای زیست‌بوم سازگار، یکی از رسالت های مراکز علمی و اجرایی مرتبط با بخش کشاورزی می‌باشد. یکی از این راهبردها می‌تواند استفاده از قابلیت پالایش فلزات سنگین توسط گیاهان هرز باشد. بر همین اساس، نظر به این‌که گیاه لوبیا، نسبت به زیادی مس در خاک، ازحساسیت بالایی برخوردار است و از طرفی علف‌هرز تاج‌خروس ریشه‌قرمز به عنوان یکی از علف‌های هرز اختصاصی در مزارع لوبیا (Horak & Loughin, 2000)، از قابلیت جذب و تجمع عنصر مس برخوردار است، پژوهش حاضر به منظور بررسی رقابت لوبیا و تاج‌خروس تحت شرایط فزونی مس و بررسی امکان کاهش آلودگی لوبیا به این عنصر از طریق خاصیت تجمع‌دهندگی علف‌هرز تاج‌خروس ریشه‌قرمز، اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۵ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملا تصادفی با چهار تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل غلظت‌های ۱، ۲۵ و ۵۰ میکرو مولار سولفات مس ($CuSO_4$) (Bouazizi *et al*., 2010) و مخلوط جایگزینی لوبیا (B) و تاج‌خروس (P) با نسبت‌های ۱۰۰درصد لوبیا+۰درصد تاج‌خروس (1B: 0P)، ۷۵درصد لوبیا+۲۵درصد تاج‌خروس (0.75B: 0.25P)، ۵۰درصد لوبیا+۵۰درصد تاج‌خروس (0.5B: 0.5P)، ۲۵درصد لوبیا+۷۵درصد تاج‌خروس (0.25B: 0.75P) و ۰درصد لوبیا+۱۰۰درصد تاج‌خروس (0B: 1P) بود. تراکم بوته لوبیا و تاج‌خروس در کشت خالص معادل چهار بوته در گلدان درنظر گرفته شد. آزمایش به صورت آب‌کشت (هیدروپونیک) اجرا گردید و از محلول غذایی هوگلند (Bouazizi *et al*., 2010) برای تغذیه گیاهان استفاده شد. از گلدان‌های پلاستیکی با ارتفاع ۱۳ سانتی‌متر و قطر دهانه ۲۵سانتی‌متر (ظرفیت حدود شش کیلوگرم) استفاده شد. از پمپ هوا مدل ACO-010 برای هوادهی محلول استفاده شد. محلول غذایی هر پنج روز یک‌بار تعویض گردید. دمای گلخانه در طول روز و شب به‌ترتیب معادل ۲±۳۰ و ۲±۱۶ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی معادل ۷۰ درصد و میزان تشعشع در گلخانه، ۸۰۰ فوتون بر متر مربع در ثانیه بود. دوره روشنایی و تاریکی به‌ترتیب معادل ۱۴ و ۱۰ ساعت بود و کمبود نور توسط

1. Rhizosphere

لامپ‌های بخارسدیم، تأمین شد. بذور لوبیاقرمز (رقم درخشان) پس از ضدعفونی با هیپوکلریت‌سدیم ۳درصد، بین دو لایه کاغذ صافی مرطوب داخل پتری‌دیش، در تاریکی به مدت سه روز برای جوانه‌زنی قرار گرفته و پس از جوانه‌زنی به لوله‌های آزمایش حاوی محلول یک چهارم هوگلند، منتقل شدند. گیاهچه‌های تاج‌خروس نیز پس از جوانه‌زنی و استقرار اولیه در کوکوپیت و پرلیت، بعد از ۱۵ روز به طور همزمان با گیاهچه های لوبیا، به گلدان منتقل شدند. تیمار مس پس از انتقال گیاهان به داخل گلدان، در محلول غذایی هوگلند، اعمال شد.

۳۰ روز پس از انتقال گیاهچه‌ها و اعمال تیمار غلظت های مس، نمونه‌برداری از گیاهان، برای تعیین صفات مورد نظر انجام شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌ها، قسمت‌های مختلف گیاهان لوبیا و تاج‌خروس شامل برگ، ساقه و ریشه، بعد از تفکیک، به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. غلظت عناصر مس، منیزیم، پتاسیم و فسفر در ریشه و برگ گیاهان لوبیا وتاج‌خروس اندازه‌گیری شد. غلظت عناصر مس و منیزیم با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل VARIAN-SpectrAA 220 و پتاسیم نیز با دستگاه فلیم‌فتومتر مدل فاطر الکتریک، اندازه‌گیری شد. غلظت فسفر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Cary 100 با قرائت در طول موج ۴۳۰ نانومتر، اندازه‌گیری گردید. فاکتور انتقال فلز مس[1](TF) نیز از تقسیم غلظت مس در برگ بر غلظت مس در ریشه، به‌دست آمد (Barman *et al.*, 2000).

TF=
غلظت مس در ریشه (میکرو گرم برگرم) / غلظت مس در برگ (میکرو گرم برگرم)

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS var 9.1، انجام گردید. مقایسه میانگین تیمارها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. در مواردی که اثر متقابل تیمارها معنی‌دار بود، برش‌دهی (Slicing) برهم‌کنش فاکتورها در غلظت‌های متفاوت مس، انجام شد.

نتایج و بحث

غلظت مس

اثر سطوح مس، نسبت‌های جایگزینی و اثر متقابل آن‌ها، بر غلظت مس در ریشه و برگ لوبیا وتاج‌خروس معنی‌دار بود (جدول ۱ و ۳). در تمامی سطوح مس، همجواری تاج‌خروس با لوبیا سبب کاهش غلظت مس در گیاه لوبیا شد. در تیمار ۲۵میکرو مولار سولفات مس، غلظت مس در ریشه لوبیا در نسبت جایگزینی 0.75B: 0.25P، ۸ درصد، در نسبت 0.5B: 0.5P، ۲۴ درصد و در نسبت 0.25B: 0.75P معادل ۳۲ درصد، نسبت به کشت خالص لوبیا (شاهد) کاهش یافت. در غلظت ۵۰میکرومولار سولفات مس، غلظت مس در ریشه لوبیا در کشت خالص ۱/۵۶، در نسبت جایگزینی 0.75B: 0.25P، ۱/۳۵، در نسبت 0.5B: 0.5P، ۱/۱۵ و در نسبت 0.25B: 0.75P، ۰/۹۷ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک بود (جدول ۲).

رقابت درون و برون گونه‌ای، بر جذب فلزات سنگین توسط گیاهان تأثیر می‌گذارد (Bruce, 2001). برای مثال کشت مخلوط گیاه *Cunninghamia lanceolata* و چای، غلظت فلزاتی نظیر سرب، نیکل، منگنز و روی را در برگ‌های گیاه چای کاهش داده است (Xue & Fei, 2006). روابط مثبت بین گیاهان (تسهیل) در شرایط تنش غیرزنده شدید، گزارش شده است (Lortie & Callaway, 2006) و شدت اثرات تسهیل‌کنندگی با افزایش تنش، افزایش می‌یابد (Callaway *et al.*, 2002).

در غلظت ۱ میکرومولار مس، مقدار مس در ریشه تاج خروس، در کشت خالص، ۰/۰۴۱ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک بود و با افزایش تعداد بوته لوبیا در نسبت 0.75B: 0.25P، به ۰/۰۵۹میلی‌گرم بر گرم ماده خشک رسید. در غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میکرومولار مس، مقدار مس در ریشه تاج‌خروس، در نسبت 0.75B: 0.25P، به‌ترتیب ۵۲ و ۵۵ درصد نسبت به کشت خالص تاج‌خروس، افزایش یافت. در غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میکرومولار مس، غلظت مس در برگ لوبیا در نسبت جانشینی 0.25B: 0.75P، به‌ترتیب به میزان ۲۴ و ۳۱ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا (شاهد) کاهش نشان داد (جدول ۴).

اولین خسارت سمیت مس، به غشای پلاسمایی سلول‌های ریشه وارد می‌شود (Woolhouse, 1983). به همین دلیل، رشد ریشه بیشتر از سایر اندام‌ها تحت تأثیر فراوانی مس قرار می‌گیرد. در همه سطوح آلودگی مس، غلظت مس در برگ گیاه لوبیا، با افزایش تعداد بوته تاج‌خروس در گلدان، نسبت به کشت خالص لوبیا، کاهش یافت. در هر سه تیمار غلظت مس، غلظت مس در برگ گیاه تاج‌خروس در کشت خالص، نسبت به سایر نسبت‌های جایگزینی، کمتر بود (جدول۴).

پتاسیم

اثر سطوح مس، نسبت‌های جایگزینی و اثر متقابل آن‌ها، بر غلظت پتاسیم در ریشه و برگ تاج‌خروس و اثر سطوح مس، و اثر متقابل سطوح مس و نسبت‌های جایگزینی، بر غلظت پتاسیم در ریشه و برگ لوبیا معنی‌دار بود (جدول ۱ و ۳). با افزایش غلظت مس در محلول غذایی، غلظت پتاسیم در هر دو گیاه لوبیا و تاج‌خروس کاهش یافت. در غلظت ۱ میکرومولار مس، غلظت پتاسیم در ریشه لوبیا با افزایش تعداد بوته تاج

1. Translocation factor

خروس کاهش یافت. در غلظت ۲۵ میکرو مولار مس، غلظت پتاسیم در ریشه لوبیا، در نسبت‌های جایگزینی 0.75B:0.25P، 0.5B:0.5P و 0.25B: 0.75P، به‌ترتیب ۳، ۸ و۱۰ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا، افزایش یافت. این افزایش در غلظت ۵۰ میکرومولار مس برای همه نسبت‌های جایگزینی بیشتر از غلظت ۲۵ میکرو مولار مس بود، به طوری‌که غلظت پتاسیم در ریشه لوبیا، در نسبت‌های جایگزینی مذکور به‌ترتیب ۹، ۱۲ و ۱۵ درصد افزایش یافت (جدول ۲). در غلظت ۱میکرومولار مس، تاج‌خروس در کشت خالص، مقدار پتاسیم کمتری در ریشه خود نسبت به سه نسبت جایگزینی دیگر داشت؛ در صورتی که در غلظت ۲۵ و ۵۰ میکرومولار مس، غلظت پتاسیم در ریشه تاج‌خروس در کشت خالص، بیشتر بود (جدول ۲). در سطح یک میکرومولار مس، با افزایش تراکم نسبی تاج‌خروس، از غلظت پتاسیم در برگ لوبیا کاسته شد به طوری‌که در نسبت 0.25B: 0.75P، غلظت پتاسیم در برگ لوبیا به میزان ۵ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا کاهش نشان داد. اما در غلظت ۲۵ و ۵۰ میکرو مولار سولفات مس، روند معکوس بود به نحوی که در نسبت 0.25B: 0.75P، غلظت پتاسیم در برگ لوبیا به‌ترتیب به میزان ۷ و ۱۰ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا (شاهد) افزایش نشان داد. در غلظت ۱ میکرومولار مس، غلظت پتاسیم در برگ تاج‌خروس در کشت خالص کمتر و در غلظت ۲۵ و ۵۰ میکرو مولار سولفات مس، بیشتر از سایر نسبت‌های جایگزینی بود (جدول۴). در تحقیق Bouazizi *et al*, (2010) نیز کاهش غلظت پتاسیم در برگ‌های لوبیا در تیمار فزونی مس گزارش شده است. کاهش پتاسیم یکی از اثرات ثانویه کاهش آهن در اثر آلودگی مس می‌باشد (Hall, 2002).

فسفر

اثر سطوح مس، و اثر متقابل سطوح مس و نسبت‌های جایگزینی، بر غلظت فسفر در ریشه و برگ لوبیا و تاج‌خروس معنی‌دار بود (جدول ۱ و ۳). در غلظت ۱ میکرومولار مس، غلظت فسفر در ریشه و برگ لوبیا با افزایش تعداد بوته تاج خروس در گلدان نسبت به کشت خالص، کاهش و در تاج خروس با افزایش تعداد بوته لوبیا، افزایش نشان داد. در تیمارهای ۲۵ و ۵۰ میکرومولار مس، غلظت فسفر در ریشه و برگ لوبیا و تاج‌خروس نسبت به غلظت ۱ میکرومولار مس، کاهش یافت. در غلظت ۲۵ میکرومولار مس، غلظت فسفر در ریشه لوبیا در نسبت جایگزینی 0.25B: 0.75P، ۱۷ درصد و در برگ ۱۱ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا افزایش نشان داد (جدول ۲ و ۴).

در غلظت ۵۰ میکرومولار مس، در تیمار 0.25B: 0.75P، غلظت فسفر در ریشه و برگ لوبیا به‌ترتیب به میزان ۲۱ و ۱۸درصد نسبت به کشت خالص لوبیا افزایش یافت. در غلظت ۲۵ و ۵۰ میکرومولار مس، غلظت فسفر در ریشه و برگ تاج خروس در کشت خالص بیشتر از سایر نسبت‌های جایگزینی بود (جداول ۲ و ۴). کاهش غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana*) در تیمار ۲/۵ و ۵میکرومولار مس گزارش شده است (Lequeux *et al*., 2010). به دلیل خاصیت انتخابی کمتر ناقل‌هایی که سبب انتقال فلزات به سیتوپلاسم می‌شوند (Kramer *et al*., 2007)، فزونی مس در محلول غذایی، سبب رقابت بین یون‌های مس و دیگر یون‌ها در محل فعال می‌گردد (Lequeux*et al*., 2010). فزونی مس سبب کاهش فعالیت فسفاتاز و در نتیجه کاهش غلظت فسفر می‌شود (Tyler, 1976).

منیزیم

اثر سطوح مس، نسبت‌های جایگزینی و اثر متقابل آن‌ها، بر غلظت منیزیم در ریشه و برگ تاج‌خروس و اثر سطوح مس، و اثر متقابل سطوح مس و نسبت‌های جایگزینی، بر غلظت منیزیم در ریشه و برگ لوبیا معنی‌دار بود (جدول ۱ و ۳). در غلظت ۱ میکرومولار مس، غلظت منیزیم در ریشه و برگ لوبیا در نسبت جایگزینی 0.25B: 0.75P، به‌ترتیب به میزان ۸ و ۱۱ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا، کاهش و در غلظت ۲۵ میکرو مولار مس، به‌ترتیب ۱۸ و ۱۱ درصد و در غلظت ۵۰ میکرو مولار مس، به‌ترتیب به میزان ۲۶ و ۱۲ درصد افزایش یافت. در غلظت ۱ میکرومولار مس، غلظت منیزیم در ریشه و برگ تاج‌خروس با افزایش تعداد بوته لوبیا به‌ترتیب به میزان ۱۲ و ۶ درصد افزایش و در غلظت ۲۵ میکرومولار مس، به‌ترتیب به میزان ۱۴ و ۱۰ درصد و در غلظت ۵۰ میکرومولار مس، به‌ترتیب ۱۸ و ۱۳ درصد کاهش یافت. کاهش در غلظت منیزیم در گیاه مو (*Vitis vinifera* L.) در شرایط فزونی مس، گزارش شده است (Cambrolle *et al*., 2013). منیزیم نقش مهمی در فعالیت‌های فتوسنتزی و نگهداری دستگاه فتوسنتزی دارد (Maathuis, 2009). کاهش منیزیم در تیمار فزونی مس به دلیل اثرات غیراختصاصی مس بر جذب و انتقال یون در نتیجه اختلال در وظایف ریشه (نشت غشاء، کاهش جذب یون و بارگیری آوند چوب) می‌باشد (Kopittke & Menzies, 2006).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر دُز مس و نسبت‌های جایگزینی، بر غلظت مس، پتاسیم، فسفر و منیزیم در ریشه لوبیا و تاج‌خروس ریشه‌قرمز

Table 1. Analysis of variance (Mean of squares) for the effects of copper doses and replacement intercropping ratios on the concentration of copper, potassium, phosphorus and magnesium in the roots of common bean and redroot pigweed

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	غلظت مس Cu concentration		غلظت پتاسیم K concentration		غلظت فسفر P concentration		غلظت منیزیم Mg concentration	
		لوبیا Bean	تاج‌خروس Pigweed	لوبیا Bean	تاج‌خروس Pigweed	لوبیا Bean	تاج‌خروس Pigweed	لوبیا Bean	تاج‌خروس Pigweed
غلظت مس Cu dose (Cu)	2	5300473.38**	36407786.61**	439552049.1**	728587357**	75552228.8**	361624285.7**	7826118.86**	51313951.3**
نسبت مخلوط جانشینی Replacement (R)	3	87529.28**	740805.38**	4107993^{ns}	12887426**	486516.8^{ns}	1004981.3^{ns}	244204.24**	234991.4**
اثر متقابل Cu × R	6	54380.56**	348950.58**	10284482.7**	18316796**	3398982.6**	3840656.6**	302399.05**	888649.8**
اشتباه آزمایشی Error	24	724.99	2796.22	1731306.6	919017	279330.1	768062.9	13138.30	10369
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		5.37	3.55	3.48	2.02	4.36	4.38	2.54	1.39

ns، و **:به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱درصد

ns, and **: Not-significant and significant at 1% probability level, respectively

جدول ۲- اثر نسبت‌های جایگزینی بر غلظت عناصر مس، پتاسیم، فسفر و منیزیم در ریشه لوبیا و تاج‌خروس ریشه‌قرمز در سطوح مس به صورت برش‌خورده (تجزیه شده در قالب طرح کاملاً تصادفی)

Table 2. Mean comparisons for the effect of replacement intercropping ratios on the concentration of copper, potassium, phosphorus and magnesium in the bean and pigweed roots under different copper doses (Analyzed based on a completely randomized design)

غلظت مس Cu doses (μM)	نسبت‌های جانشینی Replacement intercropping ratios	غلظت مس Cu concentration mg/g DW		غلظت پتاسیم K concentration mg/g DW		غلظت فسفر P concentration mg/g DW		غلظت منیزیم Mg concentration mg/g DW	
		لوبیا Bean	تاج‌خروس Pigweed	لوبیا Bean	تاج‌خروس Pigweed	لوبیا Bean	تاج‌خروس Pigweed	لوبیا Bean	تاج‌خروس Pigweed
1	1B: 0P	0.031^{a}	-	45.90^{a}	-	15.83^{a}	-	5.55^{a}	-
	0.75B: 0.25P	0.028^{a}	0.059^{a}	44.57^{ab}	57.60^{a}	14.98^{a}	27.10^{a}	5.31^{b}	10.12^{a}
	0.5B: 0.5P	0.025^{a}	0.051^{a}	43.08^{b}	56.06^{ab}	14.0^{b}	26.00^{ab}	5.19^{bc}	9.75^{b}
	0.25B: 0.75P	0.021^{a}	0.046^{a}	42.77^{b}	55.0^{bc}	13.60^{b}	25.66^{b}	5.09^{c}	9.40^{c}
	0B: 1P	-	0.041^{a}	-	53.69^{c}	-	24.65^{b}	-	9.03^{d}
25	1B: 0P	0.25^{a}	-	35.20^{c}	-	11.0^{c}	-	4.12^{c}	-
	0.75B: 0.25P	0.23^{ab}	1.20^{a}	36.30^{bc}	42.96^{d}	11.90^{b}	18.21^{b}	4.51^{b}	6.32^{d}
	0.5B: 0.5P	0.19^{bc}	1.09^{b}	37.90^{ab}	45.31^{c}	12.7^{ab}	18.60^{b}	4.65^{b}	6.51^{c}
	0.25B: 0.75P	0.17^{c}	0.89^{c}	38.71^{a}	47.17^{b}	12.90^{a}	19.17^{ab}	4.88^{a}	7.05^{b}
	0B: 1P	-	0.79^{d}	-	49.03^{a}	-	20.22^{a}	-	7.37^{a}
50	1B: 0P	1.56^{a}	-	29.41^{b}	-	8.50^{b}	-	3.17^{c}	-
	0.75B: 0.25P	1.35^{b}	4.15^{a}	31.97^{a}	37.11^{d}	9.43^{a}	14.05^{b}	3.60^{b}	5.02^{d}
	0.5B: 0.5P	1.15^{c}	3.78^{b}	32.91^{a}	39.10^{c}	10.10^{a}	14.40^{b}	3.91^{a}	5.32^{c}
	0.25B : 0.75P	0.97^{d}	3.09^{c}	33.85^{a}	41.01^{b}	10.31^{a}	15.09^{ab}	4.01^{a}	5.70^{b}
	0B: 1P	-	2.67^{d}	-	43.31^{a}	-	16.42^{a}	-	6.10^{a}

در هر کدام از سطوح مس و در هر ستون، اختلاف بین میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد.

B: لوبیا، P: تاج‌خروس ریشه‌قرمز

At each copper level and each column, means with the same letters are not significantly different based on LSD test at 5% probability level.
B: bean, P: redroot pigweed

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح مس و نسبت‌های جایگزینی، بر غلظت مس، پتاسیم، فسفر و منیزیم در برگ لوبیا و تاج‌خروس ریشه‌قرمز

Table 3. Analysis of variance (Mean of squares) for the effects of copper doses and replacement intercropping ratios on the concentration of copper, potassium, phosphorus and magnesium in the leaf of common bean and redroot pigweed

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	غلظت مس Cu concentration		غلظت پتاسیم K concentration		غلظت فسفر P concentration		غلظت منیزیم Mg concentration	
		لوبیا Bean	تاج‌خروس Pigweed	لوبیا Bean	تاج‌خروس Pigweed	لوبیا Bean	تاج‌خروس Pigweed	لوبیا Bean	تاج‌خروس Pigweed
غلظت مس Cu dose (Cu)	2	5656.60^{**}	106648.3^{**}	126219897.7^{**}	226892182.5^{**}	21303501.48^{**}	70585483.1^{**}	3363293.10^{**}	18927512.22^{**}
نسبت مخلوط جانشینی Replacement (R)	3	197.13^{**}	2421.59^{**}	1195289.4^{ns}	2890495.6^{*}	405366.44^{ns}	494924.9^{ns}	26087.96^{ns}	100893.20^{**}
اثر متقابل Cu × R	6	47.74^{**}	944.76^{**}	2901123^{*}	4768382.3^{**}	846536.59^{**}	1161090.5^{**}	191495.86**	209730**
اشتباه Error	24	12.55	103.33	1099560.9	630610.9	208686.17	175869.9	14807.60	15554.23
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		10.68	9.33	3.68	1.94	4.88	3.33	2.91	2.25

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵درصد و ۱درصد

ns,* and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۴- اثر نسبت‌های جایگزینی بر غلظت عناصر مس، پتاسیم، فسفر و منیزیم در برگ لوبیا و تاج‌خروس ریشه‌قرمز در سطوح مس به صورت برش‌خورده (تجزیه شده در قالب طرح کاملا تصادفی)

Table 4. Mean comparisons of the effect of replacement intercropping ratios on the concentration of copper, potassium, phosphorus and magnesium in the bean and pigweed leaves under different copper doses (Analyzed based on a completely randomized design)

سطوح مس Cu dose (μM)	نسبت‌های جانشینی Replacement intercropping ratios	غلظت مس Cu concentration (mg/g DW)		غلظت پتاسیم K concentration (mg/g DW)		غلظت فسفر P concentration (mg/g DW)		غلظت منیزیم Mg concentration (mg/g DW)	
		لوبیا Bean	تاج‌خروس Pigweed	لوبیا Bean	تاج‌خروس Pigweed	لوبیا Bean	تاج‌خروس Pigweed	لوبیا Bean	تاج‌خروس Pigweed
1	1B: 0P	0.013^{a}	-	32.69^{a}	-	11.00^{a}	-	5.01^{a}	-
	0.75B:0.25P	0.013^{a}	0.019^{a}	32.00^{ab}	46.21^{a}	10.71^{ab}	15.70^{a}	4.82^{a}	7.03^{a}
	0.5B: 0.5P	0.011^{a}	0.018^{a}	31.48^{ab}	45.80^{a}	10.31^{ab}	15.40^{a}	4.61^{b}	6.99^{ab}
	0.25B : 0.75P	0.011^{a}	0.018^{a}	30.88^{b}	45.01^{ab}	10.11^{b}	15.01^{ab}	4.47^{b}	6.80^{bc}
	0B: 1P	-	0.016^{a}	-	44.20^{b}	-	14.60^{b}	-	6.60^{c}
25	1B: 0P	0.037^{a}	-	27.35^{b}	-	9.00.5B	-	3.90^{b}	-
	0.75B: 0.25P	0.035^{ab}	0.116^{a}	28.00^{ab}	39.31^{c}	9.41^{ab}	11.52^{c}	4.00^{b}	5.11^{c}
	0.5B: 0.5P	0.030^{bc}	0.108^{ab}	28.61^{ab}	40.20^{bc}	9.90^{a}	12.00^{bc}	4.26^{a}	5.30^{bc}
	0.25B : 0.75P	0.028^{c}	0.099^{bc}	29.34^{a}	41.07^{ab}	10.00^{a}	12.40^{ab}	4.35^{a}	5.40^{b}
	0B: 1P	-	0.088^{c}	-	42.15^{a}	-	12.80^{a}	-	5.70^{a}
50	1B: 0P	0.065^{a}	-	24.11^{b}	-	7.20^{c}	-	3.44^{c}	-
	0.75B: 0.25P	0.060^{a}	0.24^{a}	24.98^{ab}	38.31^{a}	7.68^{bc}	9.73^{c}	3.60^{bc}	4.11^{c}
	0.5B: 0.5P	0.050^{b}	0.205B	25.50^{ab}	37.02^{ab}	8.23^{ab}	10.75^{bc}	3.79^{ab}	4.20^{bc}
	0.25B : 0.75P	0.045^{b}	0.19^{c}	26.53^{a}	36.01^{bc}	8.50^{a}	10.54^{ab}	3.86^{a}	4.41^{b}
	0B: 1P	-	0.16^{d}	-	35.12^{c}	-	11.20^{a}	-	4.72^{a}

در هر کدام از سطوح مس و در هر ستون، اختلاف بین میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. B: لوبیا، P: تاج‌خروس ریشه‌قرمز

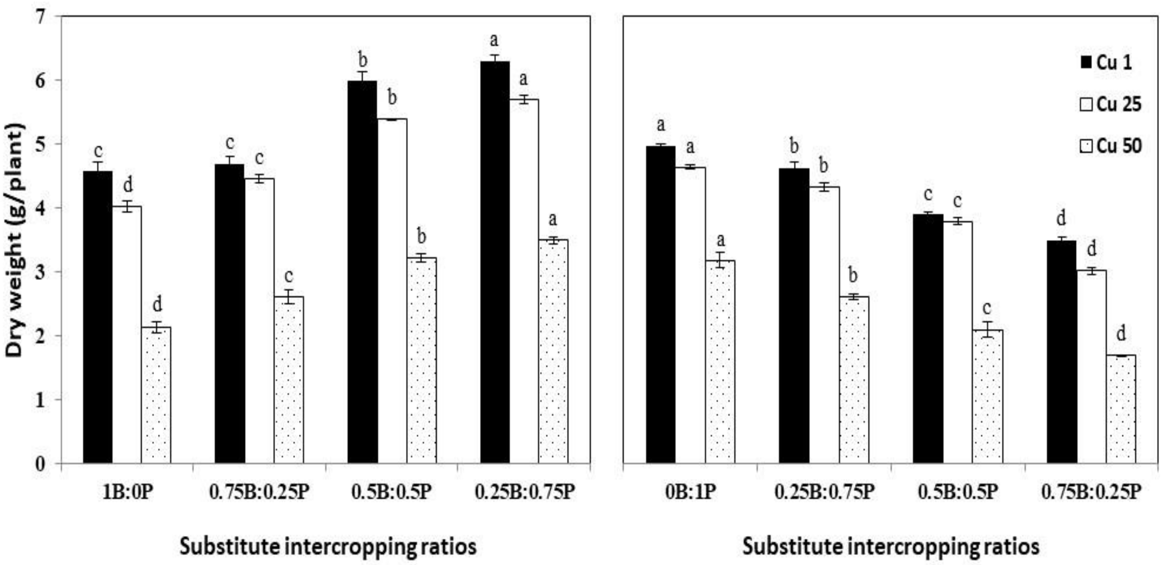
At each copper level and each column, means with the same letters are not significantly different based on LSD test at 5% probability level. B: bean, P: redroot pigweed

ماده خشک لوبیا و تاج‌خروس

در همه غلظت‌های سولفات مس، مـاده خشـک تـک‌بوتـه لوبیا با افزایش تعداد بوته تاج‌خروس، افزایش یافـت (شـکل ۱). ولی این افزایش در غلظت ۵۰ میکرومولار مس بیشتر بـود، بـه طـوری‌کـه در غلظـت‌هـای ۱، ۲۵ و ۵۰ میکرومـولار مـس، در نسبت جانشینی 1B: 0.75P، ماده خشک لوبیا بـه‌ترتیـب ۳۸، ۴۱ و ۶۳ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا افـزایش یافت. بـه نظر می‌رسد رقابت درون‌گونه‌ای لوبیا بیشتر از رقابت بـین‌گونـه ای بوده است. در غلظت ۱ میکرومولار مس، میزان افزایش وزن خشک تک‌بوته لوبیا با افزایش تعداد بوته تاج‌خروس نسـبت بـه کشـت خـالص لوبیـا در نسـبت 0.75B: 0.25P، ۳ درصـد، در نسبت 0.5B: 0.5P، ۳۱ درصد و در نسـبت 0.25B: 0.75P ، ۳۸ درصد بود. در غلظت ۲۵میکرومولار مس این افزایش بـرای نسبت‌های فوق به‌ترتیب بـه میـزان ۳۴، ۱۱ و ۴۱ درصـد و در غلظـت ۵۰ میکرومـولار مـس بـه‌ترتیـب معـادل ۲۲، ۵۰ و ۶۳ درصد بود. در کشت خالص لوبیا و تـاج‌خـروس نیـز بـا افـزایش غلظت مس، متوسط وزن خشک تک‌بوتـه لوبیـا و تـاج‌خـروس، کاهش یافت. این کاهش در تاج‌خروس کمتـر بـود. در هـر سـه غلظت مس، وزن خشک تک‌بوته تاج‌خـروس بـا افـزایش تعـداد بوته لوبیا، کاهش یافت، به‌طـوری‌کـه در غلظـت ۱ میکرومـولار مس، وزن خشک تک‌بوته تاج‌خروس در نسبت‌هـای جـایگزینی 0.25B: 0.75P، 0.5B: 0.5P و0.75B: 0.25P ، به‌ترتیب ۷، ۲۲ و ۳۰ درصد و در غلظت ۲۵ میکرو مولار مس بـه‌ترتیـب ۶، ۱۸ و ۳۵ درصد و در غلظت ۵۰ میکرو مولار مس به‌ترتیب ۱۸، ۳۴ و ۴۶ درصد نسبت به کشـت خـالص تـاج‌خـروس، کـاهش یافت.

در محیط‌های آلوده به فلزات سنگین، غلظت مـاده سـمی دریافتی توسط گیاه با تراکم بوته، رابطه معکوس دارد (Hansi *et al.*, 2014). در شرایط فزونی مس، افزایش ماده خشک لوبیا در همجواری تاج‌خروس (گیاه تجمع‌دهنده) در نسبت 0.25B: 0.75P به دلیل رقیق‌سازی محیط توسط تاج‌خروس مـی‌باشـد. در تیمار فزونی مس، ماده خشک گیاهان کاهو و جو با افـزایش تراکم گیاهان مذکور افزایش یافت (Hansi *et al.*, 2014).

بازدارندگی رشد و کاهش ماده خشک، یکی از پاسـخ‌هـای گیاهان عالی به سمیت فلزات سنگین می‌باشد. در تنش فلـزات سنگین، کاهش در تولید ماده خشک به دلیل بازدارندگی طویل شدن و تقسیم سلول، اتفاق می‌افتـد (Arduini*et al.*, 1994). همچنین فلزات با تأثیر بر سلول‌های مریستمی، سبب تغییر در سنتز پیش‌ماده RNAریبوزومی می‌شوند و بدین ترتیـب رشـد گیـاه را تحـت تـأثیر قـرار مـی‌دهنـد (Ouzounidou *et al.*, 1992). افزایش غلظت مس در کلزا به دلیل تغییـر مورفولـوژی ریشه و کاهش جذب عناصر، سبب کاهش رشد و مـاده خشـک کلزا (*Brassica napus*) شد (Zaheer *et al.*, 2015).



شکل ۱- ماده خشک لوبیا (چپ) و تاج‌خروس (راست) در غلظت‌های مختلف مس و نسبت‌های جانشینی لوبیا و تاج‌خروس ریشه‌قرمز

در هر کدام از سطوح مس، اختلاف بین میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. B: لوبیا، P: تاج‌خروس ریشه‌قرمز

Fig. 1. Dry weight of bean (left) and pigweed (right) under copper doses and substitute intercropping ratios of bean and redroot pigweed

At each copper level, means with the same letters are not significantly different based on LSD test at 5% probability level. B: bean, P: redroot pigweed

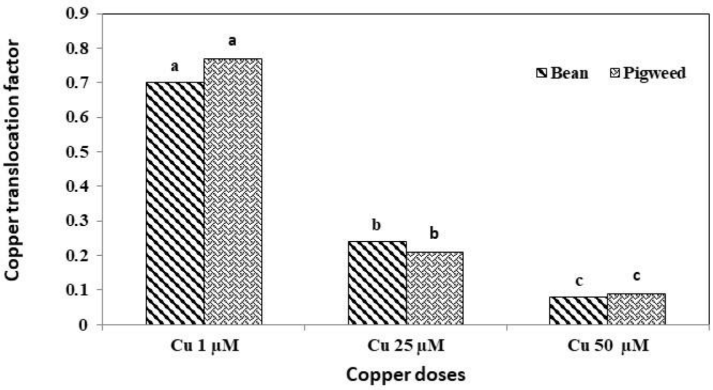
جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر دُز مس و نسبت‌های جایگزینی بر فاکتور انتقال مس لوبیا و تاج‌خروس ریشه‌قرمز (تجزیه شده بر اساس آزمایش فاکتوریل ۳× ۴)

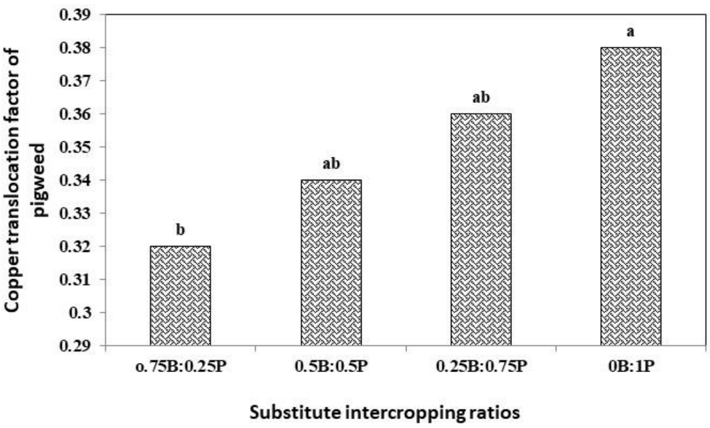
Table 5. Analysis of variance (Mean of squares) for the effects of copper doses and replacement intercropping ratios on the translocation factor of common bean and redroot pigweed (Analyzed based on a 3 × 4 factorial layout)

S.O.V.	df	TF	
		Bean	Pigweed
غلظت مس Cu dose (Cu)	2	1.23^{**}	1.57^{**}
نسبت مخلوط جانشینی Replacement (R)	3	0.001^{ns}	0.005^{*}
اثر متقابل Cu × R	6	0.0002^{ns}	0.002ns
اشتباه آزمایشی Error	24	0.00085	0.001
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		8.54	11.89

ns، * و **:به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵درصد و ۱درصد

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively





شکل ۲- فاکتور انتقال مس در تاج‌خروس و لوبیا در غلظت‌های مختلف مس (بالا) و نسبت‌های جانشینی لوبیا و تاج‌خروس (پایین)

B: لوبیا، P: تاج‌خروس ریشه‌قرمز؛ در هر کدام از سطوح مس و نسبت‌های جانشینی، اختلاف بین میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد

Fig. 2. Copper translocation factor of pigweed under copper doses (top) and replacement intercropping ratios of bean and pigweed (down)

Means with the same letters are not significantly different based on LSD test at 5% probability level.
B: bean, P: redroot pigweed

فاکتور انتقال مس

اثرغلظت‌های مختلف مس بر فاکتور انتقال مس در هر دو گونه لوبیا و تاج‌خروس معنی‌دار بود، ولی اثر نسبت‌های جانشینی بر فاکتور انتقال مس فقط در گیاه تاج‌خروس معنی دار شد. برهمکنش غلظت مس و نسبت‌های جانشینی بر فاکتور انتقال مس در هر دو گونه غیرمعنی‌دار بود (جدول ۵). توانایی گیاه در انتقال فلزات از ریشه به اندام‌های هوایی با استفاده از فاکتور انتقال، ارزیابی می‌گردد (Galal & Shehata, 2015). فاکتور انتقال بیشتر از یک، نشان‌دهنده توانایی بالای گیاه در انتقال عناصر از ریشه به اندام‌های هوایی می‌باشد و ناشی از سیستم انتقال مؤثر در این زمینه می‌باشد (Zhao *et al*., 2007). در کشت خالص تاج‌خروس، بیشترین میزان فاکتور انتقال مس به مقدار۰/۳۸ به‌دست آمد. از آنجا که غلظت مس در ریشه گیاه تاج‌خروس در تیمار 0.75B: 0.25P در مقایسه با گیاه تاج‌خروس در کشت خالص، بیشتر بود، به‌نظر می‌رسد که تاج‌خروس با نگهداری مس در ریشه و جلوگیری از انتقال آن به اندام هوایی از یکی ازمکانیسم‌های تحمل به فلزات سنگین استفاده می‌کند (Weis & Weis, 2004).

با افزایش غلظت مس در محلول غذایی، فاکتور انتقال مس در هر دو گونه کاهش معنی‌داری یافت. فاکتور انتقال مس در گونه *Amaranthus spinosus* درغلظت ۶۰ و ۲۰۰ میلی مولار سولفات مس، کمتر از یک گزارش شده است (Devi Chinmayee *et al*., 2012).

نتیجه‌گیری

همجواری کنترل‌شده علف‌هرز تاج‌خروس و لوبیا، با کاهش جذب مس توسط لوبیا، سبب افزایش رشد لوبیا گردید. تاج‌خروس با توان بالای جذب فلز مس از محلول غذایی در کشت مخلوط، سبب مصونیت گیاه لوبیا در برابر تنش فزونی مس و افزایش غلظت سه عنصر پتاسیم، فسفر و منیزیم در ریشه و برگ لوبیا نسبت به کشت خالص لوبیا شد. در شرایط فزونی مس، همجواری لوبیا با تاج‌خروس با افزایش عناصر غذایی در لوبیا، باعث افزایش ماده خشک لوبیا نسبت به کشت خالص گردید. در شرایط فزونی مس، گیاه تاج‌خروس در کشت خالص، کمترین غلظت مس را در ریشه و برگ داشت. بنابراین غلظت سه عنصر پتاسیم، فسفر و منیزیم در ریشه و برگ گیاه تاج‌خروس نسبت به سایر نسبت‌های جایگزینی بیشتر بود. با افزایش غلظت مس، فاکتور انتقال هر دو گیاه کاهش پیدا کرد.

منابع

1. Adrees, M., Ali, S., Rizwan, M., Ibrahim, M., Abbas, F., Farid, M., Zia-ur-rehman, M., Irshad, M.K. and Bharwana, S.A. 2015. The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: overview. Environmental Science Pollution Research 22: 8148-8162.
2. Arduini, I., Godbold, D.L., and Onnis, A. 1994. Cadmium and copper change root growth and morphology of *Pinuspinea* and *Pinuspineaster* seedling. Physiologia Plantarum 92: 675-680.
3. Ashrafi, A., Zahedi, M., and Soleimani, M. 2015. Effect of co planted purslane (*Portulacaoleracea* L.) on Cd accumulation by sunflower in different levels of Cd contamination and salinity: a pot study. International Journal of Phytoremediation 17: 853-860.
4. Barman, S.C., Sahu, R.K., Bhargava, S.K., and Chaterjee, C. 2000. Distribution of heavy metals in wheat, mustard and weed grown in field irrigated with industrial effluents. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 64: 489-496.
5. Bigaliev, A., Boguspaev, K., and Znanburshin, E. 2003. Phytoremediation potential of *amaranthus* sp. for heavy metals contaminated soil of oil production territory. 10th Annual International Petroleum Environmental Conferen. Houston, Al-Farabi Kazakh.
6. Bouazizi, H., Jouili, H., Geitmann, A., and Ferjani, E.E. 2010. Copper toxicity in expanding leaves of *Phaseolus vulgaris* L.: Antioxidant enzyme response and nutrient element uptake. Ecotoxicology and Environmental Safety 73: 1304-1308.
7. Bravin, M.N., Garnier, C., Lenoble, V., Gerard, F., Dudal, Y., and Hinsinger, P. 2012. Root-induced changes in pH and dissolved organic matter binding capacity affect copper dynamic speciation in the rhizosphere. Geochimicaet Cosmochimica Acta 84: 256-268.
8. Bruce, E.P. 2001. Phytoremediation of Contaminated Soil and Groundwater at Hazardous Waste Sizes. EPA ORD Ground Water Issue, EPA/540/S-01/500.
9. Brun, L.A., Maillet, J., Hinsinger, P., and Pepin, M. 2001. Evaluation of copper availability to plants in copper-contaminated vineyard soils. Environmental Pollution 111: 293-302.

10. Callaway, R.M., Brooker, R.W., Choler, P., Kikvidze, Z., Lortie, C.J., Michalet, R., Paolini, L., Pugnaire, F.I., Newingham, B., Aschehoug, E.T., Armas, C., Kikodze, D., and Cook, B.J. 2002. Positive interactions among alpine plants increase with stress. Nature 417: 844-848.
11. Cambrolle, J., Garcia, J.L., Ocete, R., Figueroa, M.E., and Cantos, M. 2013. Growth and photosynthetic response to copper in wild grapevine. Chemosphere 93: 294-301.
12. Devi Chinmayee, M., Mahesh, B., Pradesh, S., Mini, I., and Swapna, T.S. 2012. The assessment of phytoremediation potential of invasive weed *Amaranthus spinosus* L. Applied Biochemistry and Biotechnology 167: 1550-1559.
13. Dresler, S., Hanaka, A., Bednarek, W., and Maksymeric, W. 2014. Accumulation of low-molecular-weight organic acids in roots and leaf segments of *Zea mays* plants treated with cadmium and copper. Acta Physiologiae Plantarum 36: 1565-1575.
14. Gaetke, L.M., and Chow, C.K. 2003. Copper toxicity, oxidative stress, and antioxidant nutrients. Toxicology 189: 147-163.
15. Gajewska, E., and Sklodowska, M. 2010. Differential effect of equal Copper, Cadmium and Nickel concentration on biochemical reactions in wheat seedlings. Ecotoxicology and Environmental Safety 73: 996-1003.
16. Galal, T.M., and Shehata, H.S. 2015. Bioaccumulation and translocation of heavy metals by *Plantago major* L. grown in contaminated soils under the effect of traffic pollution. Ecological Indicators 48: 244-251.
17. Hall, J.L. 2002. Cellular mechanisms for heavy met al detoxification and tolerance. Journal of Experimental Botany 53: 1-11.
18. Hoffman, D.W., and Lavy, T.L. 1978. Plant competition for atrazin. Weed Science 26: 94-99.
19. Horak, M.J., and Loughin, T.M. 2000. Growth analysis of four *Amaranthus* species. Weed Science 48: 347-355.
20. Ke, W., Xiong, Z., Chen, S., and Chen, J. 2007. Effect of copper and mineral nutrition on growth, copper accumulation and mineral element uptake in two *Rumex japonicus* populations from a copper mine and an uncontaminated filed sites. Environmental and Experimental Botany 59: 59-67.
21. Kopittke, P.M., and Menzies, N.W. 2006. Effect of Cu toxicity on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). Plant and Soil 279: 287-296.
22. Kramer, U., Talke, I.N., and Hanikenne, M. 2007. Transition met al transport. FEBS Lett. 581: 2263-2272.
23. Lequeux, H., Hermans, C., Lutts, S., and Verbruggen, N. 2010. Response to copper excess in *Arabidopsis thaliana*: Impact on the root system architecture, hormone distribution, lignin accumulation and mineral profile. Plant Physiology and Biochemistry 48: 673-682.
24. Li, Z.A., Peng, S.L., Rae, D.J., and Zhou, G.Y. 2001. Litter decomposition and nitrogen mineralization of soils in subtropical plantation forests of southern China, with special attention to comparisons between legumes and non- legumes. Plant and Soil 229: 105-116.
25. Li, N.Y., Li, Z.A., Zhuang, P., Zou, B., and McBirde, M. 2009. Cadmium uptake from soil by maize with intercrops. Water, Air & Soil Pollution 199: 45-56.
26. Lortie, C.J., and Callaway, R.M. 2006. Re-analysis of meta-analysis: support for the stress-gradient hypothesis. Journal of Ecology 94: 7-16.
27. Maathuis, F.J.M. 2009. Physiological functions of mineral macronutrient. Current Opinion in Plant Biology 12: 250-258.
28. Michaud, A.M., Bravin, M.N., Galleguillos, M., and Hinsinger, P. 2007. Copper uptake and phytotoxicity as assessed in situ for durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.) cultivated in Cu-contaminated former vineyard soils. Plant and Soil 298: 99-111.
29. Mico, C., Recatala, L., Peris, M., and Sanchez, J. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. Chemosphere 65: 863-872.
30. Oorts, K. 2013. Copper. In: B.J. Alloway (Ed.). Heavy metals in soils. Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. Springer, Dordrecht, pp. 367-394.
31. Ouzounidou, G., Elefteriou, E.P., and Karataglis, S. 1992. Ecophysiological and ultrastructural effects of copper in *Thlaspiochroleucum* (Cruciferae). Canadian Journal of Botany 70: 947-957.
32. Su, D.C., Lu, X.X., and Wong, J.W.C. 2008. Could co-cropping or successive cropping with Cd accumulator oilseed rape reduce Cd uptake of sensitive Chinese cabbage? Practice Periodical of Hazardous Toxic and Radioactive Waste Management 12: 224-228.
33. Tyler, G. 1976. Heavy metal pollution, phosphatase activity and mineralization of organic phosphorous in forest soil. Soil Biology and Biochemistry 8: 327-332.

34. Wei, S.H., and Zhou, Q.X. 2006. Phytoremediation of cadmium-contaminated soil by *Rorippaglobosa* using two-phase planting. Environmental Science and Pollution Research 13: 151-155.
35. Whiting, S.N., Leake, J.R., McGrath, S.P., and Baker, A.J.M. 2001. Hyper accumulation of Zn by *Thlaspi caerulescens* can ameliorate Zn toxicity in the rhizosphere of cocropped *Thlaspi arvense*. Environmental Science & Technology 35: 3237-3241.
36. Woolhouse, H.W. 1983. Toxicity and tolerance in the responses of plant to metals. In: Q.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler (Eds.). Encyclopedia of Plant Physiology 12C. New Series. Springer Verla, Berlin, pp. 245-300.
37. Wuana, R.A., and Okieimen, F.E. 2011. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources. Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. ISRN Ecol. Article ID 402647. 20 p.
38. Xue, J.H., and Fei, Y.X. 2006. Effects of intercropping *Cunninghamia lanceolata* in tea garden on content and distribution of heavy metals in soil and tea leaves. Journal of Ecology and Rural Environment 22: 71-73.
39. Zaheer, I.E., Ali, S., Rizwan, M., Fraid, M., Shakoor, M.B., Gill, R.A., Najeeb, U., Iqbal, N., and Ahmad, R. 2015. Citric acid assisted phytoremediation of copper by *Brassica napus* L. Ecotoxicology and Environmental Safety 120: 310-317.
40. Zhao, G.Q., Ma, B.L., and Ren, C.Z. 2007. Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. Crop Science 47: 123-131.
41. Zimdahl, R.L. 2007. Fundamentals of Weed Science. 3rd ed. Academic Press, CA, USA.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 11, No. 2, 2020, p. 183-195 (Research Article)

The effects of competition and excessive copper concentration on seedling dry matter and copper, phosphorus, potassium, and magnesium contents in common bean (*Phaseolus vulgaris*) and redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*)

Bayat[1], S., Ahmadvand[2*], G. & Sepehri[2], A.

1. PhD. Student of Weed Science, Department of Agronomy and Plant Breeding, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran; s.bayat67@gmail.com
2. Associate Professor of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran (gahmadvand@basu.ac.ir & a_sepehri@basu.ac.ir, respectively)

Received: 21 January 2019
Accepted: 12 June 2019

DOI: 10.22067/ijpr.v11i2.78036

Introduction

Soil contamination with heavy metals is one of the most serious problems in the agricultural environments. Due to excessive injudicious and unregulated use of agrochemicals such as pesticides, bactericides and fungicides, which contain Cu as an active component, contamination of agricultural soils with Cu is often occurred. In many plant species, excess copper (Cu) toxicity is an important disorder that limits uptake and accumulation of mineral nutrients. The root system of crops in contact with the roots of neighbor plants (crop or weed) has different characteristics in terms of heavy metals adsorption compared to the pure stand of crops. The position of the roots of heavy metal accumulator weeds may affect the absorption of such metals by adjacent crops in infected conditions. The heavy metal accumulator weeds by reducing or evacuating metals from the rhizosphere of the adjacent plants, cause the plants to be immune to the toxicity of metals. Biomass reduction is a dominant effect of copper toxicity in plants. Application of high copper doses (50 and 75 µM) in nutrient solution, decreased the dry weight of common bean plants in comparison with control. Contamination of soil can affect ecological interactions between plants such as the weed-crop competition. Positive plant-plant interactions are expected to be especially beneficial under high abiotic stresses and therefore, the facilitation effects could be enhanced by increasing stress intensity. Weeds possess the ability to accumulate heavy metal and nutrients, in comparison with crops. The role of nurse plants in facilitating plant community has been applied in severe conditions. Metal hyper-accumulator plants have a positive effect on co-occurring species in met al-rich soils. Redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) is a serious weed, which affects common bean production. *Amaranthus retroflexus* and *Amaranthus spinosus* are known as metal accumulators. We hypothesized that in contaminated fields, the effects of heavy metals on crop growth may be modified by the presence of a metal accumulator weed such as redroot pigweed.

Materials and Methods

To investigate copper uptake and accumulation of mineral nutrients by common bean in association with redroot pigweed under excessive copper conditions, a factorial experiment based on a completely randomized design with four replications was carried out in a research greenhouse of Bu-Ali Sina University in 2016. Experimental factors were three Cu doses of 1 (control), 25 and 50µM $CuSO_4$ and five replacement intercropping ratios of bean (B) and redroot pigweed (P) (1B: 0P, 0.75B: 0.25P, 0.5B: 0.5P, 0.25B: 0.75P, 0B:1P). The experiment was carried out in a hydroponic condition. 15 days after seedling establishment, the seedlings of both plants were transferred to the hydroponic conditions with a Hoagland solution, and Cu doses were applied in the Hoagland solution. 30 days after growing the plants in above condition, biomass dry weight and concentration of Cu, K, P and Mg in the leaves and roots of both plants as well as copper translocation factor were determined.

***Corresponding Author:** gahmadvand@basu.ac.ir

Results and Discussion

The results showed that under three doses of copper, the highest concentration of copper in bean was obtained in sole crops, and with increasing replacement intercropping ratios of pigweed, the copper concentration was decreased in bean. In pigweed, the highest concentration of copper was observed in 0.75B: 0.25P proportion. At 1µM $CuSO_4$, potassium concentration in the roots and the leaves of bean in 0.25B: 0.75P proportion, was decreased by 7 percentage in comparison with that of the sole crops, and at 25 µM $CuSO_4$, by 10 percentage and at 50 µM $CuSO_4$, by 15 percentage were increased compared to the sole crops, respectively. At 25 µM $CuSO_4$, phosphorus and magnesium concentration in the roots of bean in 0.25B: 0.75P proportion was increased by 17 and 18 percentage, and at 50 µM $CuSO_4$, by 21 and 26 percentage, respectively in comparison with the sole crops, respectively. Association of pigweed to the bean, decreased Cu pollution in bean plants, which could be related to the balance of nutrient elements uptake by bean under excessive copper conditions. Under excessive copper conditions, the higher copper uptake by pigweed, improved the growth of bean.

Conclusion

The results of this study showed the facilitative effects of pigweed plant in decreasing the Cu toxicity stress effects to the bean and indicated that pigweed could be as a potential Cu accumulator to improve bean plant growth under the Cu stress. Here we showed that the presence of some heavy met al accumulator plants such as pigweed in common bean farms, might be a useful practice in contaminated soils. In addition, these facilitation effects of such weeds, emphasize ecological management of weeds rather than weed eradication.

Keywords: Heavy metal, Nutrient elements, Weed